

隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策(3) ～Light Field Rendering を用いた隠背景再構成に生じるジッタの分析～

松永 知典^{†1} 森 尚平^{†3} 池田 聖^{†1} 柴田 史久^{†1} 木村 朝子^{†1} 田村 秀行^{†2}
立命館大学 情報理工学部^{†1} 同 総合科学技術研究機構^{†2} 慶應義塾大学 理工学部^{†3}

1. はじめに

隠消現実感 (Diminished Reality; DR) は, 現実世界に存在する不要な物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる技術である. 本来, DR 体験の際には HMD を用いた両眼での実地体験形式を取ることが好ましい. しかし, これまでは単眼カメラを用いたビデオシーズルー (VST) 型システムの研究が多く, VST-HMD を用いる両眼立体視可能な DR システム特有の問題についてはほとんど議論されていない.

我々は, Image-Based Rendering (IBR) を用いた DR 処理結果を両眼立体視可能な VST-HMD に表示した際に再構成した対象領域に生じる両眼視野不整合[1]の1つとして, IBR 用に取得した画像の観測視点数の不足に起因する揺らぎ (以下, ジッタとする) に着目している. このようなジッタの軽減法を検討するにあたり, まず視差のフレーム間変化量を計測することによりジッタの発生を確認する. 尚, 断りのない限り, HMD は VST-HMD を指すものとする.

2. DR における両眼立体視と両眼視野不整合

2.1. 対象とする両眼視野不整合

本論文では, 両眼立体視用 DR の現実的な実装方法として, 文献[2]の単眼用 DR 実現手順に則った処理を左目・右目用画像それぞれに実行し HMD に表示する方法を想定する. 本節では, 以下に挙げる代表的な幾何学的不整合のみについて具体的に取り上げる. 尚, ステレオカメラ・ディスプレイの同期及びその校正は然るべきハードウェアの利用と事前準備によって解決されているものとする.

IBR を用いた隠背景再構成における視点依存のジッタ (幾何学的不整合): 観測者視点位置から隠された光景である隠背景を実空間に合わせて再構成するために, IBR がしばしば用いられる[3]. こういった手法を利用する際, 撮影可能な時間や範囲, 保存可能枚数等に関する制約から, 撮影画像枚数が隠背景再構成に用いるには不十分である場合が考えられる. このような場合, 隠背景再構成時に選択される画像の撮影地点が体験者視点位置によって大きく異なるため提示画像が歪む幾何学的不整合が発生する.

2.2. 想定される両眼視野不整合

両眼, 除去対象, 除去対象領域, 隠背景の関係を図 1 に示す. この時, 隠背景再構成結果と実空間の間に何らかの不整合が発生しているとすると, 除去対象領域内外の境界の特定領域において, 左目用画像では実空間, 右目用画像ではそれとは見た目の異なる隠背景再構成結果, もしくはその逆の光景が観測されることになる. 2.1 節で述べた, 幾何学的不整合が発生する場合においては,

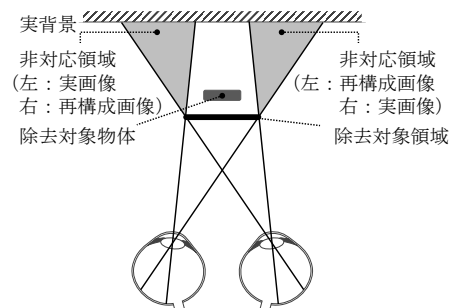


図1 実背景画像と隠背景再構成画像間の非対応

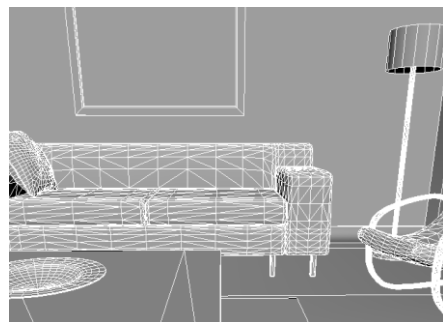


図2 対象とするCGモデルのポリゴン

左目・右目用画像それぞれで選択される画像の撮影地点が大きく異なる場合があるため, 除去対象領域内においても, 体験者の視点位置に応じて本来得られる視差量よりも大きく, または小さくなり, 対象領域内で知覚される立体感に違和感が生じると考えられる.

3. 実験

3.1. 実験内容

本実験では, 前章で述べたように IBR の一種である Light Field Rendering [4] (LFR) を用いた隠背景再構成におけるジッタの発生を, CG モデル¹ (図 2) を用いたシミュレーションにより再現することで, 幾何学的不整合に起因する両眼視野不整合の発生を確認する. 図 2 の CG モデルの頂点を体験時画像上に投影し, その投影された頂点の位置を用いて視差及び視差のフレーム間変化量を算出することにより, 両眼視野不整合発生の確認を行う. 体験時画像上に投影される点のうち, 視差及び視差のフレーム間変化量の算出に利用する点を, 以下, シーン点とする.

3.2. 実験手法

【前提条件】

HMD のカメラの内部パラメータおよびカメラ間の相対位置・姿勢は, HMD (Canon HH-A1, 両カメラ VGA, 両ディスプレイ SXGA, 水平画角 41 度) のパラメータを用いた. ただし, HMD の両カメラの基線長には適当なスケールを与え CG 空間の座標系に合うように調整した. 体験者視点のステレオ画像には, 視野内の奥行方向にシーン点が偏りなく得られるように適当な注視対象を

“Considerations on Binocular Mismatching in Observation-Based Diminished Reality (3) –Considerations of Jitter in Hidden View Recovery Using Light Field Rendering–”

^{†1} College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†2} Research Organization of Sci. and Tech., Ritsumeikan University

^{†3} Faculty of Sci. and Tech., Keio University

¹ ICL Living room dataset: http://www.doc.ic.ac.uk/~ahanda/VaFRIC/living_room.html

設定した上で、平行移動させてレンダリングした 90 フレームを用いた。尚、本 HMD の両カメラは 1.4m 先の一点を注視するように設計されているため、視差及び視差のフレーム間変化量を算出する際には上記のステレオ画像の平行化を要した。

本実験で用いる LFR 用画像として縦横 4×200, 4×20 視点分の 2 種のデータを CG 空間の同一の範囲で密度が異なるように取得した。尚、体験時のステレオ画像はこのカメラレイ構成面から離れた位置で取得し、LFR 用カメラレイ内の視点と全く同じ画像が得られないようにした。そして、LFR した体験者視点のステレオ画像における視差のフレーム間変化量を算出するため、以下の流れで処理を行った。

【処理の流れ】

(1) 隠背景観測画像群の生成

まず、図 2 の CG モデルの頂点に対し固有の RGB 値を与え、カメラレイを構成する多視点画像に投影することで、その 2 次元位置に対応する画素を塗りつぶした。

(2) LFR による体験時ステレオ画像の生成

次に、(1) で得られた多視点画像を HMD の両カメラの位置・姿勢に合わせて LFR を用いて α 合成した。

(3) シーン点の追跡及びステレオマッチング

(2) のステレオ画像を平行化した後、左目用画像において閾値以上の画素値を持つ点を画像中のシーン点とみなし、右目用画像、次フレームの左目用画像、次フレームの右目用画像にて対応する色があるかどうか確認した。尚、フレーム間のシーン点の追跡、ステレオマッチングにおける類似度計算には正規化相互相関を用いた。

(4) 視差及び視差のフレーム間変化量の算出

(3) で対応点が検出された場合、その検出位置から視差及び視差のフレーム間変化量を以下の方法で算出した。

本実験で調べるシーン点の視差 d は、平行化された HMD の左目・右目用画像上の対応点の水平位置をそれぞれ u_L, u_R としたとき、以下の式で定義される (式 (i))。

$$d = u_L - u_R \quad (i)$$

そして、フレーム番号を i とすると、視差のフレーム間変化量 Δd は、視差 d を基に定義される (式 (ii))。

$$\Delta d = d_i - d_{i-1} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (ii)$$

この視差の変化量 Δd は頭部位置に依存する量である。例えば、頭部が対象点に近づけば視差が増加するため Δd は正の値をとり、遠ざかれば負の値をとる。純粋に IBR による幾何学的不整合のみによる視差のフレーム間変化量を算出するため、次の 2 種類のレンダリングパス (幾何変換) での視差の変化量の差をジッタと定義した。

基準： シーンモデルの頂点を単純に体験時画像上に投影し、投影位置を算出する。

IBR： シーンモデルの頂点を Light Field 取得用の画像上に投影し、隠背景観測画像群を生成する。この画像群と体験時のカメラ位置・姿勢を入力として LFR 法により体験時視点画像を再構成し、体験時カメラの画像上に投影される頂点位置を算出する。

3.3. 実験結果と考察

図 3 に視差のフレーム間変化量の絶対値の推移を示す。LFR 用カメラレイの視点数を 4×200, 4×20 と疎にした場合、視差のフレーム間変化量と、その値を奥行に換算した値は表 1 の通りになった。表 1 の奥行換算値は、基線長 63mm、画素単位換算の焦点距離 600 画素の

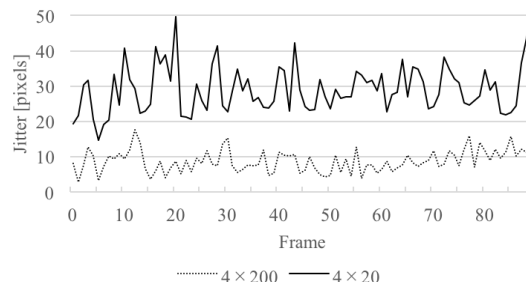


図 3 視差のフレーム間変化量

表 1 視差の変化量とその奥行換算値

	4×200	4×20
視差のフレーム間変化量 (平均±標準偏差)	8.79±3.09 画素	29.08±6.72 画素
奥行換算値	387.9mm	803.61mm

HMD において、1.5m 先の奥行きにある点を表すとした場合である。この結果から、カメラレイの視点数が疎であるほど、体験者視点の移動に伴うジッタが多く発生することが分かる。

LFR によって生成された画像には、シーン中の単一の点を写した多視点画像を体験者視点にて α 合成した結果がレンダリングされる。そのため、単一のシーン点であるにもかかわらず、画像中に単一のシーン点が複数存在する場合があった。こうしたアーティファクトは左右それぞれの画像に発生するため、不自然な視差を持ったシーン点が存在することとなった。また、そうした点の発生位置は視点位置に応じて、フレーム間で変化し、視点数が少ない程この傾向が顕著であった。

このような不自然な視差の変化は、単純に単一の画像上の幾何学的不整合として知覚されるだけでなく、奥行き方向のジッタとして知覚される可能性がある。特に DR においては、再構成される除去対象領域と実画像をそのまま提示する周辺領域とを比較しながら体験するため、本実験で確認した両眼視差のジッタが際立って知覚される可能性がある。

4. むすび

本論文では、VST 型 HMD を用いた DR において、単眼の画像上で生じる幾何学的不整合が原因となり、両眼立体視に特有の不整合すなわち両眼視野不整合が生じることを示した。幾何学的不整合に起因する両眼視野不整合としては、LFR における隠背景観測画像の観測視点不足により、両眼視差の時間的変化が不自然に振動するジッタが生じることが確認された。

今後はより幅広い条件下で上記の両眼視野不整合を解消もしくは軽減する手法について検討する必要がある。

本研究の一部は、科研費・基盤研究 (S) (課題番号 24220004) と学振・特別研究員奨励費 (課題番号 16J05114) による。

参考文献

[1] 松木, 他: 隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策, 第 20 回日本 VR 学会大会論文集, 21B-2, pp. 230 - 233, 2015.
 [2] 森, 他: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～, 日本 VR 学会論文集, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
 [3] S. Mori, et al.: "Efficient use of textured 3D model for pre-observation-based diminished reality," Proc. IWDR, pp. 32 - 39, 2015.
 [4] M. Levoy, et al.: "Light field rendering," Proc. SIGGRAPH, pp. 31 - 42, 1996.